Gratulationsschrift

der

medizinischen Fakultät der Universität Zürich

zu der

am 18. August 1863 stattfindenden Säkularfeier

der

Dr. Joh. Christ. Senkenbergischen Stiftung

zu Frankfurt a. M.

Die

wechselnde Lage des Schwerpunktes

in

dem menschlichen Körper.

Ein Beitrag zur plastischen Anatomie

von

Dr. G. Hermann Meyer,

ord. Professor der Anatomie in Zürich.

Leipzig,

Verlag von Wilhelm Engelmann.

1863.

Am 18. August dieses Jahres ist es ein Jahrhundert, seit ein edler Frankfurter Bürger, der Arzt Dr. Johann Christian Senkenberg, sein Vermögen zu einer Stiftung verwendete, welche der Förderung der ärztlichen Wissenschaft und der Versorgung armer Kranker gewidmet sein sollte. Er selbst ordnete noch die Einrichtung eines Theatri anatomici, eines Laboratorii chymici und eines Horti medici an, sowie er auch noch den Bau eines Bürger- und Beysassen-Hospitales begann, „in welchem arme und kranke Bürger und Beysassen verpfleget werden können". Die Vollendung seines Werkes erlebte er nicht mehr; aber was er gegründet, wuchs und blühte; seine Stiftung wurde für Frankfurt der Mittelpunkt des wissenschaftlichen Lebens in ärztlicher Thätigkeit und in naturwissenschaftlicher Forschung; und damit gewann sie auch Bedeutung weit über die Gränzen der Stadt hinaus, welcher sie zunächst gewidmet war. Das freudige Ereigniß der hundertsten Wiederkehr des Stiftungstages wird darum auch nicht nur in Senkenberg's Vaterstadt gefeiert, sondern es findet auch im ganzen deutschen Lande den regsten Anklang in allen Anstalten, welche der Ausbildung der ärztlichen Wissenschaften und der Naturkunde gewidmet sind; so nimmt auch die medizinische Fakultät der Universität Zürich den lebhaftesten Antheil an dieser Feier und fühlt sich deshalb aufgefordert, ihren Glückwunsch zu dem festlichen Tage auszusprechen, und muß sich um so mehr dazu aufgefordert fühlen, als sie zwei Mitglieder besitzt, welche die erste Anregung zu ihrer wissenschaftlichen Laufbahn durch das medizinische Institut der Senkenbergischen Stiftung erhalten

haben. Die Wirksamkeit der Stiftung für Verbreitung und Förderung anatomischer Kenntnisse anerkennend, beehrt sich die Fakultät als Gratulationsschrift eine anatomische Abhandlung, von einem dieser beiden Mitglieder verfaßt, zu überreichen mit dem Wunsche, daß dieselbe der feierlichen Gelegenheit würdig möge befunden werden.

Der Dr. Senkenbergischen Stiftung aber wünscht die Fakultät, daß sie gleich wie in dem verflossenen Jahrhunderte ihres Bestehens, auch ferner noch blühen und gedeihen möge und reiche Früchte bringen zum Nutzen der Wissenschaft und zum Heile der leidenden Menschheit.

Im Namen der medizinischen Fakultät der Universität Zürich

Prof. Dr. W. Griesinger, d. Z. Dekan.

Für die Untersuchung über die Ortsbewegungen des ganzen menschlichen Körpers, insbesondere für diejenigen, welche mit Hülfe der Beine zu Stande kommen, wird als wichtigster Ausgangspunkt stets die Kenntniß der Lage des Schwerpunktes des ganzen Körpers angesehen werden müssen. Das Grundgesetz unserer Ortsbewegung mit Hülfe der Beine besteht ja gerade darin, daß der Schwerpunkt des ganzen Körpers abwechselnd durch den einen und den anderen Fuß unterstützt und über die Länge desselben nach vornen bewegt wird; der Akt der Uebertragung des Schwerpunktes von dem einen Fuß auf den anderen kann dabei in größerem oder geringerem Umfange ebenfalls für Fortbewegung desselben und somit des ganzen Körpers nach vornen benutzt werden. In größtem Umfange geschieht letzteres bei dem Sprunglaufe; gänzlich unterlassen wird es bei dem stampfenden Gang, in welchem die Ferse des vorgesetzten Fußes immer neben die große Zehe des für den Augenblick ruhenden Fußes gestellt wird; in dem gewöhnlichen Gange beträgt die Vorwärtsbewegung während der Uebertragung von einem Fuße auf den anderen ungefähr so viel, als die Bewegung auf einem jeden einzelnen Fuße, indem die Entfernung der Ferse des vorgesetzten Fußes von der großen Zehe des hinteren Fußes ungefähr eine Fußlänge zu betragen pflegt, je nach der Individualität des Gehenden natürlich bald etwas mehr bald etwas weniger. Während der Uebertragung ist der Schwerpunkt nicht unterstützt, sondern befindet sich in fallender Bewegung. Eine genaue Analyse der Gehbewegungen hat daher, abgesehen von den in dem Körper selbst während derselben wirkenden Thätigkeiten und Mechanismen, zu untersuchen, wann die Bedingungen für Unterstützung des Schwerpunktes durch einen Fuß gegeben sind und wann die Bedingungen für das Eintreten der Fallbewegung sich geltend machen. Daß möglichst genaue Kenntniß der Lage des allgemeinen Schwerpunktes des Körpers hierfür unerläßlich ist, ist deutlich. — Mindestens eben so wichtig ist aber auch die Kenntniß der Lage des allgemeinen Schwerpunktes für die richtige Auffassung und das Verständniß der ruhenden Stellungen, indem bei diesen der Schwerpunkt durch die Fläche unterstützt werden muß, mit welcher der Körper den Boden

oder eine andere Unterlage berührt, und zwar möglichst in der Weise, daß die Schwerlinie so genau, als es sein kann, die Mitte der Unterstützungsfläche trifft. Ungerechnet das an diese Fragen sich knüpfende wissenschaftliche Interesse ist genaue Kenntniß des Verhältnisses zwischen der Lage des Schwerpunktes und der Unterstützungsfläche noch von mehrfachem und großem praktischen Interesse, denn nicht nur ist dieselbe den darstellenden Künsten als Grundbedingung für die bewußte richtige Stellung componirter Figuren unumgänglich nothwendig; sondern auch der Chirurg bedarf ihrer für eine sichere und zweckdienliche Präventivbehandlung der Verkrümmungen; — bleibende Lagenveränderung von Gliedtheilen gegen einander oder Verluste ganzer Gliedmaaßen bedingen ja häufig solche Lagenveränderungen des allgemeinen Schwerpunktes, daß dadurch eigenthümliche Haltungen in dem Körper für den Zweck angemessener Äquilibrirung hervorgerufen werden; wie leicht nun lange fortgesetzte Haltungen bleibend werden, ist bekannt und ebensosehr, wie gerade hierin ein vorherrschend großer Theil der Verkrümmungen seinen Grund findet; — weiß daher der Chirurg, welche Lagenveränderung des Schwerpunktes durch eine gegebene Gestaltveränderung des Körpers herbeigeführt werden muß, so kann er auch schon die Art und den Grad der dadurch veranlaßten falschen Haltung zum Voraus bemessen und deren Nachtheilen entgegenwirken.

Man darf sich nach diesem nicht wundern, daß die Frage nach der Lage des allgemeinen Schwerpunktes im menschlichen Körper schon ziemlich frühe aufgetaucht ist. Der Mathematiker Alphons Borelli in Rom hat im Jahre 1680 zu Rom ein umfangreiches Werk de motu animalium veröffentlicht, in welchem er die Bewegungs- und Gleichgewichtsgesetze des menschlichen Körpers, sowie diejenigen der Vierfüßer und der Vögel untersucht. Natürlich mußte sich ihm, als einem Mathematiker, vor Allem die Schwerpunktsfrage aufdrängen, und so haben wir denn von ihm die erste experimentale Bestimmung der Lage des allgemeinen Schwerpunktes in dem menschlichen Körper. Seine Bestimmungsmethode bestand darin, daß er einen menschlichen Körper entkleidet auf ein Brett legte und dieses in der Richtung seiner größten Länge über die senkrecht dagegen gestellte obere freie Kante eines dreikantigen Balkens schob, bis er die Gleichgewichtslage für Brett und Körper gemeinschaftlich gefunden hatte. Nach diesem Versuche bestimmte er die Lage des allgemeinen Schwerpunktes in die Gegend zwischen den Hinterbacken und den Geschlechtstheilen (inter nates et pubim).

Die Brüder Wilhelm und Eduard Weber haben bei den Untersuchungen, welche sie in ihrer „Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge" (Göttingen 1836) niedergelegt haben, den Versuch von Borelli nach wesentlich der gleichen Methode und mit wesentlich dem gleichen Erfolge wiederholt; nur vermochten sie mit etwas mehr Genauigkeit und unter Beobachtung einiger Vorsichtsmaßregeln eine schärfere Bestimmung zu geben, als es die in einen ziemlich vagen Aus-

druck formulirte Bestimmung von Borelli gewesen war. Sie bezeichneten die Lage als durch eine Horizontalebene bestimmt, welche an dem untersuchten Individuum 8,7 Millimeter über dem Promontorium gefunden wurde.

Einen so wichtigen Satz wir auch durch diese Versuche gewonnen haben, konnte doch durch denselben die Aufgabe nicht gelöst sein, die Lage des Schwerpunktes für den gesammten menschlichen Körper in einer für weitere Verwendung brauchbaren Weise anzugeben. Für die Bestimmung der Lage eines Punktes ist ja die Verwendung dreier Ebenen nothwendig. Zwei Ebenen bestimmen durch ihre Durchkreuzung nur eine Linie; und erst die dritte Ebene, indem sie diese Linie durchkreuzt, bestimmt durch die Stelle, an welcher sie mit derselben zusammentrifft, einen Punkt. — Da es nun als selbstverständlich vorausgesetzt werden muß, daß wegen des symmetrischen Baues des Körpers der Schwerpunkt desselben in seiner Mittelebene zu suchen sei, so war durch die Untersuchungen von Borelli und den Brüdern Weber nur eine von vornen nach hinten den Körper durchziehende Linie gegeben, nämlich die Durchschnittslinie zwischen der von vornen nach hinten in senkrechter Richtung den Körper durchziehenden Mittelebene und der von den genannten Forschern gefundenen Horizontalebene.

In dieser Linie war nun die Lage des Schwerpunktes noch dadurch zu bezeichnen, daß die senkrechte Querebene des Körpers aufgefunden wurde, in welcher er sich befinden mußte. Diese Querebene wurde von mir (Müller's Archiv 1853: Die Mechanik des Kniegelenks, dritter Beitrag zur Lehre von der Mechanik des menschlichen Knochengerüstes S. 518) durch folgende Versuche ermittelt: Es wurde die ruhige aufrechte Stellung angenommen und dann ohne eine Verrückung der Haltung des Körpers in sich Rumpf und Beine durch Biegung im Fußgelenk nach vornen geneigt, bis ein Umkippen um eine durch die Mittelpunkte der Metatarsusköpfchen beider großen Zehen gezogene Axe anfing sich geltend zu machen; ebenso wurde durch Streckung im Fußgelenk eine Rückwärtsneigung des Rumpfes und der Beine als einer steifen Einheit ausgeführt, bis ein Umkippen um den hinteren Rand der Ferse sich bemerklich machte. Hiermit war der Schwerpunkt über die ganze unterstützende Fläche des Fußes bewegt. Genaue Messungen an bestimmt erkennbaren Punkten der Beine hatte deren Neigung gegen den Horizont für die Ausgangsstellung und für die beiden extremen Stellungen erkennen lassen; damit war zugleich die in dem Fußgelenk ausgeführte Winkelbewegung gegeben, und aus diesem im Vereine mit der durch die Fußlänge angegebenen horizontalen Verschiebung des Schwerpunktes ließ sich sodann die Lage der Schwerlinie für die Ausgangsstellung bestimmen. Auf diesem Wege wurde als die den Schwerpunkt enthaltende senkrechte Querebene für das ruhige Aufrechtstehen diejenige erkannt, welche bei einem mittelgroßen Individuum ungefähr 3 Centimeter vor der Verbindungslinie der Spitzen beider äußerer Knöchel und zugleich etwa 5 Centi-

meter hinter der Verbindungslinie der beiden Hüftgelenkmittelpunkte gelegen ist. — Entsprechende Versuche, in ähnlicher Weise durch Bewegungen im Kniegelenk ausgeführt, führten zu wesentlich dem gleichen Ergebnisse. — In weiterer Ausführung dieser Untersuchungen und unter gleichzeitiger Zuziehung der von den Vorgängern gewonnenen Sätze war ich sodann im Stande, die Lage des Schwerpunktes auch anatomisch zu bestimmen. Der allgemeine Schwerpunkt des ganzen Körpers liegt nämlich **in dem ruhigen Aufrechtstehen,** wie dieses letztere in meinem Aufsatze in Müller's Archiv 1853 S. 9 u. f. beschrieben ist, in dem Körper des zweiten Kreuzbeinwirbels oder etwas über demselben in dem Kreuzbeincanal.

Durch diese Studien ist nun allerdings ein allgemeiner Schwerpunkt in dem menschlichen Körper hingestellt, welcher als so genau giltig anzusehen ist, wie dieses überhaupt der Fall sein kann da, wo individuelle Schwankungen mannichfaltigster Art in jedem besonderen Falle modificirend auftreten müssen. Die gegebene Bestimmung gilt indessen nur für eine einzige Haltung des Körpers, nämlich für das ruhige Aufrechtstehen, welches wir als die militärische Ausgangsstellung kennen. Die Borelli-Weber'schen Untersuchungen sind zwar allerdings für die ausgestreckte Rückenlage des Körpers angestellt, indessen ist diese Haltung des Körpers doch nicht so wesentlich von derjenigen der aufrechten Stellung verschieden, daß man der dadurch bedingten Modification der Lage jener Horizontalebene ein zu großes Gewicht beimessen dürfte. Daß übrigens die Haltung der Rückenlage und die Haltung des aufrechten Stehens keineswegs ganz dieselben sind, ist theilweise aus den von Horner und mir veröffentlichten Untersuchungen (über die normale Krümmung der Wirbelsäule, Müller's Archiv 1854 S. 478) zu ersehen, theilweise ist es auch auf dem Versuchswege wenigstens annähernd von einem Jeden zu erkennen, welcher sich unter Nachahmung der Bodenberührungen der Rückenlage mit dem Rücken an eine senkrechte Wandfläche hinstellt.

Die erwähnte aufrechte Stellung ist nun aber von allen Haltungen, welche der Körper im gewöhnlichen Leben einzunehmen pflegt, vielleicht gerade diejenige, welche am seltensten von uns eingenommen wird. Unsere gewöhnlichen Stellungen pflegen solche zu sein, in welchen Rumpf und Glieder in verschiedenen Beugungsverhältnissen zu einander stehen, und in welchen auch in dem Rumpfe selbst und in den Gliedern selbst zwischen deren einzelnen Theilen Beugungsverhältnisse verschiedenster Grade beobachtet werden. Zwischen diesen Stellungen findet ein steter Wechsel statt, und es bethätigt sich in diesem Wechsel der Körper als ein Aggregat beweglich unter einander verbundener Theile. In dem aufrechten Stehen sind diese nach bestimmtem Gesetze unter einander vereinigt, so daß sie zusammen ein steifes einheitliches Ganze darstellen. Gerade deswegen, weil diese Ver-

einigung nach ganz bestimmten Gesetzen zu Stande kömmt, ist es aber auch möglich, diese Stellung, als eine leicht formulirbare, nicht nur zur Ausgangsstellung für alle Bewegungen zu benutzen, sondern auch als diejenige Stellung zu benutzen, für welche zunächst der Schwerpunkt zu bestimmen war.

Es ist indessen leicht einzusehen, daß der für die aufrechte Stellung gefundene Schwerpunkt nicht auch für alle anderen Stellungen Giltigkeit haben kann. Der gemeinschaftliche Schwerpunkt einer Anzahl beweglich unter einander verbundener Theile ist ja nur die Resultirende aus den Schwerpunkten aller einzelnen Theile, und sobald diese einzelnen Theile mit ihren Schwerpunkten ihre gegenseitige Lage ändern, muß damit nothwendig eine veränderte Lage des allgemeinen Schwerpunktes gegeben sein, falls nicht zufällig eine Compensation der Schwerevertheilung sich einstellt; das Schwanken eines Kahnes durch Bewegungen der in demselben sitzenden Personen oder gar durch Wechseln ihrer Plätze rückt einem Jeden diesen Satz durch eigene Erfahrung sehr nahe. So muß denn auch für eine jede besondere Kombination der Glieder oder Gliedtheile der allgemeine Schwerpunkt des Körpers eine besondere Lage haben. — Unmöglich wie es ist, alle Haltungen, deren der Körper fähig ist, aufzustellen, läßt sich natürlich auch nicht eine Zusammenstellung aller nur möglichen Lagen des Schwerpunktes in dem Körper geben; — dem Bedürfnisse, für eine bestimmte gegebene Haltung oder Stellung den Schwerpunkt zu kennen, muß daher auf andere Weise entsprochen werden, und es kann dieses unschwer dadurch geschehen, daß man in Anwendung bekannter mechanischer Gesetze den Körper in die einzelnen Theile zerlegt, in welche er durch seine natürliche Gliederung zerfällt, daß man sodann für jeden dieser Theile den Schwerpunkt bestimmt und durch gesetzmäßige Verschmelzung dieser einzelnen Schwerpunkte den gemeinschaftlichen Schwerpunkt findet.

Die mechanischen Gesetze, welche hier in Anwendung kommen, lassen sich am Einfachsten von den Hebelgesetzen herleiten. Man denke einen Hebel (Fig. 1), an dessen beiden Enden zwei senkrecht auf denselben gerichtete Kräfte einwirken A und B; A sei zweimal so groß als B, und beide Kräfte seien Schwerewirkung angehängter Lasten. In diesem Hebel wird Gleichgewicht sein, wenn der Unterstützungspunkt (Hypomochlion) H so gelegen ist, daß er zweimal so weit von dem Angriffspunkte der Last B entfernt ist, als von dem Angriffspunkte der Last A. Dieser Unterstützungspunkt kann ein absolut wirkender sein, wie z. B. eine feststehende Drehaxe, oder er kann auch ein solcher sein, welcher nur dem vorliegenden Systeme von Lasteinwirkungen entspricht; als solchen können wir, vorausgesetzt, daß der Hebel selbst ein mathematischer, also

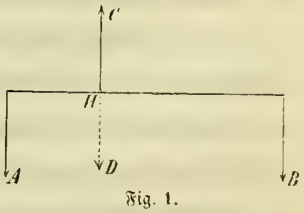

Fig. 1.

schwerelos ist, eine Kraft denken, welche in H in einer der Richtung der beiden Lasten entgegengesetzten Richtung wirkt und gleich ist der Summe der beiden Lasten A und B. Diesem würde z. B., da die Schwere von A = 2 und diejenige von B = 1 ist, irgend eine über eine Rolle wirkende Last C = 3 entsprechen. Diese Last würde einerseits durch ihre Schwere der vereinigten Schwere von A und B das Gleichgewicht zu halten geeignet sein und andererseits würde sie dadurch, daß sie auf den Punkt H einwirkt, welcher auch unter der Einwirkung von A und B steht, diesen Punkt H als Hypomochlion fixiren und damit das Gleichgewicht zwischen A und B erhalten. In dem bezeichneten Hebel wird also vollkommen Ruhe und Gleichgewicht sein, wenn A + B = C, wobei natürlich vorausgesetzt ist, daß die Theilung des Hebels in seine beiden Hebelarme nach dem umgekehrten Verhältniß zwischen A und B ausgeführt ist, so daß A an einem Hebelarm = 1 und B an einem Hebelarm = 2 wirkt. — Da der Punkt H Angriffspunkt einer nach oben wirkenden Kraft C = 3 ist, so muß er auch in Ruhe sein, wenn unter Beseitigung von A und B in H eine nach unten wirkende Kraft D = 3 ihren Angriffspunkt findet. Die Schwerewirkungen A und B können demnach ohne Störung des Gleichgewichtes durch eine in H angreifende Schwerewirkung D ersetzt werden, welche = C, also auch = A + B ist. — Wenn, wie hier vorausgesetzt ist, die einwirkenden Kräfte alle nur Schwerewirkungen sind, wenn sie demnach unter einander parallel wirken, so ist es auch vollständig gleichgültig, ob die Linie des Hebels gegen sie in rechtem oder in irgend einem anderen Winkel gestellt sei und in dem Systeme Fig. 2 wird ebenso gut Gleichgewicht sein, wie in dem früher besprochenen Fig. 1. — Für die unmittelbare Anwendung auf die vorliegende Untersuchung gehen aus diesem folgende Sätze hervor:

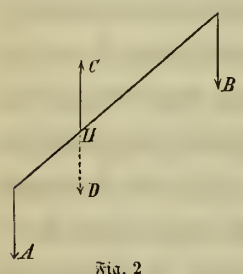

Fig. 2

1) Zwei Schwerewirkungen können durch eine dritte Schwerewirkung ersetzt werden, welche gleich ist der Summe der beiden ersten; — der Ort des Angriffes dieser dritten Schwerewirkung muß dann derjenige Punkt sein, welcher für ein Gleichgewicht zwischen den beiden ersten Schwerewirkungen Hypomochlion sein müßte.

2) Eine gegebene Schwerewirkung läßt sich in zwei andere Schwerewirkungen zerlegen, deren Summe gleich ist der ersten Schwerewirkung; — der Ort des Angriffes beider neuen Wirkungen ist gegeben, wenn man durch den Angriffspunkt der ersten Schwerewirkung eine gerade Linie in beliebiger Richtung legt und auf dieser die Entfernungen im umgekehrten Verhältnisse der durch die Zerlegung gewonnenen Schwerewirkungen abträgt.

Nach diesen Sätzen lassen sich nicht nur zwei Schwerewirkungen in eine vereinigen, und eine Schwerewirkung in zwei beliebige andere trennen; — sondern es läßt sich auch bei der bekannten gegenseitigen Abhängigkeit von Größe und Entfernung der vereinigten und der zer-

legten Schwerewirkungen eine jede beliebige dieser Größen aus den bekannten Werthen der anderen auffinden.

Da nun der Schwerpunkt eines Gegenstandes nichts ist, als der gedachte Angriffspunkt für die Wirkung seiner Schwere, so zeigen die obigen Sätze, wie man zwei ihrer Lage nach bekannte Schwerpunkte von Theilen, deren Schwere man kennt, zu einem gemeinschaftlichen Schwerpunkt vereinigen und dessen Lage bestimmen kann. Ebenso zeigen sie aber auch, wie man einen Schwerpunkt in zwei Schwerpunkte zu zerlegen hat, wie man dabei die einwirkende Schwere zu vertheilen und die Lage der neuen Schwerpunkte zu bestimmen hat. Nicht minder läßt sich mit ihrer Hülfe aus einem gemeinschaftlichen Schwerpunkte und einem Theilungsschwerpunkte, welche beide nach Lage und Stärke der Einwirkung bekannt sind, der andere Theilungsschwerpunkt nach Lage und Stärke der in ihm stattfindenden Wirkung bestimmen.

Mit Anwendung dieser Sätze gelingt es denn, nicht nur den allgemeinen Schwerpunkt für eine gewisse gegebene Haltung des Körpers zu finden, sondern auch bei gegebener Stellung eines Theiles des Körpers und bei Kenntniß des allgemeinen Schwerpunktes die Lage des anderen Theiles des Körpers zu construiren. In der von Horner und mir veröffentlichten Arbeit über die normale Krümmung der Wirbelsäule ist diese Methode bereits als ein wichtiges Hülfsmittel für die Auffindung der Haltung der Wirbelsäule benutzt, indem ein jedes Bein als abgestumpfter Kegel aufgefaßt und nach dieser Auffassung die Lage des Schwerpunktes in demselben berechnet wurde; die Lage des gemeinschaftlichen Schwerpunktes beider Beine war damit auch gegeben, indem derselbe in der Mitte zwischen den Schwerpunkten der einzelnen Beine liegend, in der Profilzeichnung des ganzen Körpers durch denselben Punkt angegeben wird; ferner war die Lage des allgemeinen Schwerpunktes durch meine vorangegangenen oben angeführten Versuche so genau bestimmt, daß sie ebenfalls in die Profilzeichnung eingetragen werden konnte; — es wurde nun eine Linie aus dem Schwerpunkte der Beine in den allgemeinen Schwerpunkt gezogen und über diesen hinaus unbestimmt verlängert; auf dieser Verlängerung mußte sodann von dem allgemeinen Schwerpunkt aus eine Linie abgetragen werden, deren Länge sich zu der Länge der zwischen den beiden genannten Schwerpunkten gezogenen Linie verhielt, wie die Schwere beider Beine zu der Schwere des Rumpfes, des Kopfes und der Arme zusammen; der obere Endpunkt dieser Linie bezeichnete dann für den gemeinschaftlichen Schwerpunkt des Rumpfes, Kopfes und der Arme die absolute Lage im Raume. Zwischen diesen Theilen war denn auch schon vorher ein gemeinschaftlicher Schwerpunkt aufgesucht, indem dieselben als mathematische Körper einfacherer Verhältnisse (Kugel, Ellipsoide) aufgefaßt, die Schwerpunktslagen für diese berechnet und sodann nach den ange-

gebenen Gesetzen unter Berücksichtigung der Einzelnschwere der Theile zu einem gemeinschaftlichen Schwerpunkte vereinigt waren. Nach den vorher schon ermittelten Bewegungsgesetzen der Wirbelsäule wurde nun eine solche Stellung der Wirbelsäule gesucht, bei welcher der bestimmte gemeinschaftliche Schwerpunkt der oberen Theile in jenen im Raum gefundenen Punkt gerückt war. Damit war denn die Haltung gefunden, welche die Wirbelsäule in dem ruhigen aufrechten Stehen einnehmen muß.

Wenn nun der allgemeine Schwerpunkt des Körpers nur die Resultirende der Schwerpunkte der einzelnen beweglich unter sich verbundenen Theile des Körpers ist, und wenn in den oben entwickelten Gesetzen das Mittel gegeben war, den allgemeinen Schwerpunkt aus den Schwerpunkten der einzelnen Theile durch Construction zu finden, so war es eine nicht mehr schwierige Aufgabe, für eine jede Haltung des Körpers in sich die Lage des allgemeinen Schwerpunktes zu ermitteln und mit Hülfe dieser Kenntniß sodann die Figur richtig durch den Boden zu unterstützen. Es mußten nur vorher die Schwerpunkte der einzelnen Theile bestimmt sein. Hierfür wählte ich die oben bereits angewendete Methode, die einzelnen Theilstücke als regelmäßige mathematische Körper aufzufassen und nach bekannten Regeln für diese die Lage des Schwerpunktes durch Berechnung zu suchen. Den Werth des einzelnen Schwerpunktes gaben dann die von Krause in seinem Handbuch der Anatomie angeführten Wägungen und wo diese noch Lücken offen ließen, wurden dieselben dadurch ausgefüllt, daß mit Grundlage der eben angedeuteten Vergleiche der Cubikinhalt der Gliedstücke berechnet und dann aus diesem mit Hülfe des spezifischen Gewichtes der Gesammtkörpermasse die absolute Schwere des Theiles ermittelt wurde. — Wie richtig diese Methode trotz aller Umständlichkeit war, wird dadurch bewiesen, daß spätere direkte Bestimmungen des Schwerpunktes der einzelnen Theile durch E. Harleß, auf welche ich in dem Folgenden noch einmal zurückzukommen habe, im Wesentlichen die gleichen Ergebnisse lieferten.

Mit dem bezeichneten Materiale war ich nun im Stande, eine Reihe von Profilfiguren zu zeichnen, welche eine große Mannichfaltigkeit der Lage des allgemeinen Schwerpunktes zeigten. Ich habe dieselben nicht veröffentlicht, weil ich immer hoffte, einen Künstler zu finden, der dieselben mit mir in solcher Weise bearbeitete, daß sie eine direktere Verwendung für Künstler finden könnten, welche der Natur der Sache nach das nächste Interesse an dem Gegenstande finden mußten. Indessen benutzte ich dieselben in meinen Vorlesungen und verwendete sie zu Vorträgen in dem hiesigen wissenschaftlichen Vereine und in der hiesigen Künstlergesellschaft. — Direkte Aufforderung wird mir jetzt Ursache für Veröffentlichung der hier entwickelten Grundsätze und ihrer Anwendung zu Bildung einiger typischer Figuren. Ehe ich

indessen an diese letztere Aufgabe gehe, habe ich noch eine interessante Entdeckung mitzutheilen, welche ich während der Abfassung dieser Abhandlung gemacht habe. Meine Prioritätsansprüche auf die entwickelte Methode der Behandlung werden damit allerdings etwas abgeschwächt, aber ich bin es doch der geschichtlichen Treue schuldig, meinen Fund nicht zurückzuhalten.

Als ich nämlich wegen der in der Einleitung gegebenen geschichtlichen Bemerkung über Borelli's Bemühungen, den allgemeinen Schwerpunkt zu bestimmen, das angeführte Werk desselben de motu animalium, Rom 1680, zur Hand nahm, war ich überrascht zu finden, daß dieser dieselbe Methode, wenn auch nur in kurzen Umrissen, bereits in verständlicher Weise zur Beurtheilung der Möglichkeit des Aequilibrirens einer beliebigen Figur auf dem Boden benutzt.

Ich gebe in dem Folgenden die betreffenden Stellen in wörtlicher Uebersetzung wieder unter Beifügung von Borelli's Originalfiguren.

Satz 132.

Ein schwerer und harter Körper befindet sich auf dem Boden in Ruhe, wenn seine Stützlinie (linea innixionis), d. h. die gerade Linie, welche von dem Schwerpunkte auf den Berührungspunkt mit dem Boden gezogen werden kann, senkrecht gegen den Horizont ist; ist dieses nicht der Fall, dann fällt er nach der Seite hin, nach welcher die Stützlinie geneigt ist.

Satz 133.

In welcher Weise ein schwerer auf den Boden gestützter Körper, dessen Stützlinie gegen den Horizont geneigt ist, von dem Umfallen bewahrt werden könne. Fig. 3 und 4.

Es sei A B C ein schwerer Körper, dessen Stützlinie, aus dem Schwerpunkte G zum Berührungspunkte mit dem Boden V gezogen, mit der Horizontalen R S einen spitzen Winkel G V R bildet. Das Umfallen dieses Körpers kann verhindert werden:

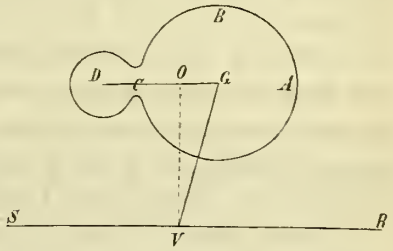

Fig. 3.

1) wenn in einem Theile C des stumpfen Winkels G V S ein anderer Körper D so angefügt wird, daß beider Körper A B C und D gemeinschaftlicher Schwerpunkt O die gerade Linie G D nach dem umgekehrten Verhältnisse ihrer Schwere theilt. Wenn dann die aus O nach V gezogene Linie O V senkrecht steht gegen R S, dann werden ohne Zweifel die beiden Körper A B C und D in solcher Lage ruhend verbleiben. O V wird Schwerlinie (linea propensionis) genannt, weil die Schwere der Körper (propensio gravium) in einer senkrechten Linie gegen die Horizontalebene R S wirkt.

2) kann auch ohne Zufügung eines neuen Gewichtes das Umfallen verhindert werden, wenn der runde Theil B C in die Länge gezogen wird, nach Art eines ausgestreckten menschlichen Armes, so daß der Schwerpunkt des Theiles B C nach D getragen wird, weiter entfernt von dem Punkte G, als er vorher gewesen war, und wenn dann der gemeinschaftliche Schwerpunkt der verlängerten Gestalt A B C der Punkt O wird, welcher in der Senkrechten O V oder der Schwerlinie gelegen ist, wie bei 1).

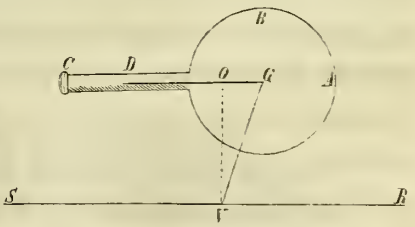

Fig. 4.

Satz 134.

Bei einem gerade ausgestreckten menschlichen Körper befindet sich der Schwerpunkt zwischen den Hinterbacken und den Geschlechtstheilen. Taf. I. Fig. 1.

(Corporis humani in directum extensi centrum gravitatis inter nates et pubim existit.)

Ich legte einen nackten Menschen in ausgestreckter Lage auf ein ebenes Brett AB. In dessen Mitte legte ich sodann einen dreiseitig prismatischen Balken ED, um das Brett AB senkrecht unter dessen Schwerpunkt zu unterstützen. Dieses Brett blieb im Gleichgewicht, so oft die Stützkante des Balkens unter dem Punkte C stand, welcher sich zwischen den Hinterbacken und den Geschlechtstheilen des auf dem Brette liegenden Menschen befindet. Der Schwerpunkt jenes ausgestreckt liegenden Menschen befand sich demnach an der angegebenen Stelle.

Satz 140.

So oft die Schwerlinie des menschlichen Körpers außerhalb der Sohle eines aufgesetzten Fußes oder außerhalb des von den beiden Fußsohlen eingeschlossenen Viereckes den Boden trifft, kann das Umfallen auch durch Muskelanstrengung nicht verhindert werden.

Satz 141.

Es wird die Art und Weise gezeigt, wie unter den im vorigen Satze vorausgesetzten Verhältnissen der Beginn des Umfallens gehemmt werden kann. Taf. I. Fig. 2.

Das Umfallen eines schief gegen den Boden gestützten Körpers geschieht im Anfange sehr langsam und mit sehr unbedeutender Kraft, daher kann dem Uebel schnell vorgebeugt werden. Sobald die Stützlinie AB aus ihrer senkrechten Lage zu dem Horizont TS abweicht, beginnt eine Kreisbewegung des schweren Körpers R, dessen Schwerpunkt in A liegt, wobei sich dieser mit dem Hebelarme AB um den Mittelpunkt B dreht. Die Bewegung des Endes dieses Radius geschieht wegen der geringen Abschüssigkeit des obersten Theiles des Kreisumfanges äußerst langsam, wie aus der Mechanik bekannt ist. Daher kann durch die lebende Kraft (ab animastica vi) der Kopf oder die Brust R schnell mittels der Muskeln nach der Gegend DE gebeugt werden, welche der Neigung ABV entgegengesetzt ist, bis daß der gemeinschaftliche Schwerpunkt A nach E getragen ist, so daß EB die senkrecht gegen den Horizont TS stehende Schwerlinie ist. Dann wird das Umfallen gehindert.

Ferner: wenn die Neigung ABS beginnt, dann ist das Kraftmoment des Körpers R, weil der Hebelarm AB sehr wenig geneigt ist, auch noch sehr gering. Deshalb kann auch durch eine geringe Verschiebung des Kopfes oder der Brust eine Compensation gegeben und die Gleichgewichtslage wieder herbeigeführt werden. — Deutlicher tritt dieses hervor, wenn das Bein AH oder der Arm CD nach der dem Falle entgegengesetzten Seite ausgestreckt wird; dann wird nämlich ein Hebelarm ausgestreckt, durch welchen das kleine Gewicht des Armes ein größeres Kraftmoment gewinnt, wegen der Länge des Hebelarmes CD; deshalb wird hierdurch auch der Schwerpunkt leichter von A nach E getragen und damit der Fall gehindert.

Satz 142.

Wie Menschen mit gebogenem Körper stehen bleiben, sich aufrichten oder noch mehr beugen können, auf einem oder auf beiden Füßen stehend, ohne umzufallen. Taf. I. Fig. 3.

Mit gebeugten Gelenken des Beines und des Fußes kann ein Mensch, mit den Füßen den Boden berührend, stehen, so lange die Schwerlinie, welche aus dem allgemeinen Schwerpunkte des ganzen

Körpers senkrecht herunterfällt, die Sohle des aufgesetzten Fußes oder den von beiden Füßen in Anspruch genommenen Raum trifft, wie z. B. auf Taf. I. in der Figur 3 mit gebeugten Hüftgelenken C, Kniegelenken D und Fußgelenken E. — Der Schwerpunkt von Kopf, Brust und Bauch sei A; der Schwerpunkt der Hüften sei G; und der Schwerpunkt der Beine sei H. — Es werde nun die gerade Linie zwischen den Schwerpunkten A und G nach den Gesetzen der Mechanik in I getheilt d. h. in dem umgekehrten Verhältnisse der Schweren; — und ebenso werde die gerade Linie I H nach dem umgekehrten Verhältnisse der Schweren in L getheilt; — dann ist L der gemeinschaftliche Schwerpunkt des ganzen so gebeugten menschlichen Körpers. Vorausgesetzt nun, daß die aus L gezogene Senkrechte L B gegen den Horizont S T, den Boden in irgend einem von den Füßen F E bedeckten oder einem anderen zwischen beiden Fußsohlen gelegenen Punkte trifft, so kann der ganze so zusammengebeugte Apparat (machina) stehen bleiben, ohne umzufallen; — und dasselbe wird der Fall sein auch bei veränderter Beugungsstellung, sei es in der Bewegung oder in der Ruhe. Dabei müssen aber immer, je weiter der Hebelarm C R des Kopfes, der Brust und des Bauches nach vornen geneigt wird, um so mehr die Hinterbacken nach hinten rücken, damit die Schwerlinie L B stets eine mittlere Lage habe und in die Fußsohle falle.

Wie oben bereits bemerkt, gilt es, um die entwickelte Methode der Auffindung des Schwerpunktes für eine jede Körperstellung durchzuführen, eine möglichst genaue Zerlegung des ganzen Körpers in einzelne Schwerpunkte zu gewinnen. Als solche einzelne Theile genügen:

Kopf,
Rumpf,
Oberarm,
Unterarm,
Hand,
Oberschenkel,
Unterschenkel,
Fuß.

Jeder dieser Theile ist ein in sich wenig veränderliches Ganze, welches gegen die anderen indessen seine Lage und Stellung ändern kann; nur der Rumpf bereitet hier eine Schwierigkeit, indem er in sich ziemlich beträchtliche Gestaltveränderungen erfahren, und zwischen einer nach hinten concaven und einer nach vornen concaven Gestalt alle verschiedenen Zwischengestalten annehmen kann. Daß, entsprechend diesen verschiedenen Gestaltungen, auch der Schwerpunkt des Rumpfes eine wechselnde Lage haben muß, ist deutlich; — es entsteht daher die Aufgabe, die Möglichkeit zu gewinnen, für jede durch Haltung bedingte Rumpfgestaltung mit annähernder Sicherheit den Schwerpunkt des Rumpfes zu bestimmen. Diese Möglichkeit ist dadurch gegeben, daß man den Rumpf als zusammengesetzt aus zwei ellipsoïden Körpern ansieht, deren

Centraltheile der Brustkorb und das Becken sind. Berechnet man für diese die Lage des Schwerpunktes, so kann man für jede Rumpfhaltung durch Vereinigung der beiden Schwerpunkte den Schwerpunkt des gesammten Rumpfes bestimmen. Meine oben angeführten Untersuchungen über die Bewegungsgesetze der Wirbelsäule zeigen auch, daß in der Vorwärts- und Rückwärtsbeugung des Rumpfes die Hauptbewegung in den 3 unteren Lendenwirbeln bemerkbar wird, welche gewissermaßen, wie ein mehrgliederiges Gelenk zwischen die unveränderlicheren Theile, Becken und Brustkorb, eingefügt sind. Diese beiden Theile des Rumpfes verhalten sich demnach annähernd wie die durch die mehrgliederige Handwurzel verbundenen Theile, Unterarm und Hand zu einander und können jedenfalls für unsere Zwecke ohne Fehler so angesehen werden. In der obigen Uebersicht ist demnach noch der Rumpf in die zwei Theile:

Brusttheil und
Beckentheil

zu zerfällen.

Ich habe früher bereits angegeben, in welcher Weise ich für die genannten Theile zuerst in der mehrerwähnten mit Horner unternommenen Arbeit die Schwerpunktslage bestimmt habe.

Diese Untersuchungen weiter führend hat C. Harleß (Abhandlungen der K. Bayerischen Akademie II. Cl. Bd. VIII) auf empirischem Wege die Schwerpunkte gesucht, indem er einen gesunden Körper in die genannten einzelnen Theile zerschnitt und für jeden Theil nach der von Borelli für den ganzen Körper angewendeten Methode, jedoch mit feineren Apparaten, die Schwerpunktslage bestimmte und zugleich die Schwere durch die Wage abmaß. — Seine Ergebnisse hat er in einer sehr brauchbaren schematischen Figur niedergelegt, welche ich mit etwas veränderten Verhältnissen den Krause'schen Messungen, als den allgemeineren, angepaßt, in Fig. 4 wiedergebe. — Die Zeichnung wird ohne weitere Erklärung verstanden; ich habe in Bezug auf dieselbe nur noch zu bemerken, 1) daß die im Schema angedeuteten Anfangspunkte der Extremitäten die Mittelpunkte des Humeruskopfes, beziehungsweise des Femurkopfes sind, — 2) daß die Lage der Drehaxen zwischen den einzelnen Abtheilungen der Extremitäten durch kleine Querstriche bezeichnet ist, — und 3) daß jedem Schwerpunkte sein Werth beigeschrieben ist, die Gesammtschwere des ganzen Körpers zu 10,000 gesetzt; — die Schwerpunkte mit unterstrichenen Zahlen bedeuten die Schwerpunkte und deren Werthe für den ganzen Rumpf, beziehungsweise den ganzen Arm und das ganze Bein; — der allgemeine Schwerpunkt des ganzen Körpers ist durch die beigesetzte Zahl 10,000 zu erkennen; — bestimmend für diese Größen waren die Mittheilungen von Harleß über seine Wägungen.

Bei diesen Bestimmungen ist indessen doch wieder der ähnliche Fehler gemacht worden, welcher für die Borelli-Weber'sche Bestimmung des allgemeinen Schwerpunktes hervorgehoben

werden mußte. Es ist nämlich nur die Lage in der Höhe des ganzen Körpers, beziehungsweise in einem gewissen Theile der Länge eines Gliedes angegeben. Für die Extremitätenabtheilungen ist dieser Fehler zwar nur von untergeordneter Wichtigkeit, indem man ohne nennenswerthe Ungenauigkeit den Schwerpunkt an der bezeichneten Stelle in die Axe des Gliedtheiles legen kann. Wichtiger wird er indessen für den Rumpf und dessen Theile, da hier Bestandtheile von zu verschiedenem spezifischem Gewichte neben einander gelagert sind, als daß es ganz ohne Einfluß auf die Schwerpunktlage bleiben könnte, so namentlich im Thorax, wo hinten Knochen und Muskulatur, vornen dagegen die lufterfüllten Lungen sich finden. Bei den unregelmäßigen Gestalten, welche hier zu berücksichtigen sind, ist es allerdings kaum möglich, die Schwerpunktlage in Bezug auf hinten und vornen ganz genau durch Messung und Berechnung zu bestimmen; — indessen könnte dieses doch wenigstens annähernd dadurch geschehen, daß man in der Zeichnung der Profilprojection des Rumpfes die oben bezeichneten Ellipsoïde entwirft, deren Schwerpunkt bestimmt und dann eine Correction mit Rücksicht auf die gröbsten Verschiedenheiten des spezifischen Gewichtes anbringt. Ich habe es jedoch vorgezogen, bei dem Entwerfen der den anderen zu Grunde liegenden Profilfiguren 5, 6 und 7 eine solche Correction nicht anzubringen, da dieselbe, um einen kleinen Fehler zu beseitigen, möglicher Weise nur einen neuen hineingetragen hätte. — Ich mußte aber als Ausgangspunkt diese mit den genannten Hülfsmitteln entworfene Profilfiguren statt der Harleß'schen Skizze nehmen, weil der Umstand, daß die Skizze von Harleß nur in der Vorderansicht entworfen ist, für ihre Brauchbarkeit in Beziehung auf den Rumpf und den Kopf von entschiedenem Nachtheile ist, indem in dieser Ansicht nur zwei Ebenen bezeichnet werden können, während die Profilansicht bei der Selbstverständlichkeit der Betheiligung der Mittelebene des Körpers alle drei Ebenen, welche einen Punkt bestimmen, zugleich andeuten kann, und sich dadurch brauchbarer erweist.

An einem ähnlichen, wie dem eben gerügten Fehler, leidet auch die von Harleß vorgeschlagene Methode, alle Einzelnschwerpunkte zu vereinigen. Es sollen dieselben nämlich sämmtlich auf eine Horizontalebene projicirt werden, dann soll die Entfernung der einzelnen von einer in dieser Ebene gezogenen geraden Linie gemessen und aus diesen Messungen zusammen mit den Werthen der Einzelnschwerpunkte soll dann die Entfernung des allgemeinen Schwerpunktes von derselben Linie nach bekannten Sätzen der Mechanik berechnet werden. — Harleß hat sogar einen besonderen Apparat, eine Art von Wage angegeben (abgebildet in seiner plastischen Anatomie, III. Abtheilung, S. 71), durch welche auf rein empirische Weise die Sammlung der Einzelnschwerpunkte zu dem allgemeinen Schwerpunkte soll zu Stande gebracht werden können. Dieser Apparat mag den praktischen Zwecken, für welche er zunächst bestimmt ist, wohl recht gut genügen, aber die Schwerpunktslage zu bestimmen, genügt er keineswegs;

denn da der Apparat nur eine Drehaxe besitzt, so bestimmt er mittels dieser nur eine der beiden Vertikalebenen, in welchen der allgemeine Schwerpunkt gelegen ist; — würde er aber auch durch eine zweite senkrecht zur ersten gestellte wagerechte Drehaxe in gleicher Weise die zweite Vertikalebene bestimmen, so wäre damit immer erst nur die Schwerlinie und deren Lage bestimmt und keineswegs die Länge derselben d. h. die Höhe des Schwerpunktes über dem Boden; und diese dritte Bestimmung gehört doch unbedingt zu genauer Bezeichnung der Lage des fraglichen Punktes. Rechnet man nun noch hinzu, daß jener Apparat ein Stück ist, welches seines Preises wegen nicht Jedem zugänglich sein kann, so ist es wohl einleuchtend, daß diese Methode der Schwerpunktbestimmung als unzugänglich und ungenügend nicht für eines Jeden Gebrauch geeignet ist und daß sie am wenigsten die gestellte wissenschaftliche Aufgabe löst.

Beiden Anforderungen entspricht dagegen die Methode, deren leitende Grundsätze ich in dem Früheren dargelegt habe, und welche ich nunmehr noch an einzelnen Beispielen auszuführen habe, damit zugleich zeigend, wie außerordentlich wechselnd die Lage des allgemeinen Schwerpunktes sein kann, und wie dieselbe sogar unter gewissen Bedingungen sich außerhalb des Körpers befinden kann. Für eine sehr große Anzahl von Fällen genügt für eine Figur eine einzige Construction, entweder nämlich die Profilconstruction oder diejenige in der Vorderansicht; — in anderen Fällen dagegen werden beide Constructionen nothwendig.

In den Zeichnungen, welche ich als Beispiele beigebe, beschränke ich mich auf die Wiedergabe von Profilansichten, weil dieselben eine größere Mannichfaltigkeit charakteristisch ausgesprochener Stellungen gewähren und in dieser Mannichfaltigkeit Gelegenheit bieten, alle Haupttypen hinzustellen, welche mir von Interesse schienen; zugleich boten sie wegen größerer Vertheilung der einzelnen Schwerpunkte in der Fläche bessere Gelegenheit, die Methode der Vereinigung der Schwerpunkte darzulegen.

In allen Figuren sind die Arme weggelassen, damit durch dieselben die Constructionen nicht zu sehr verdeckt würden. In der Regel sind sie dem Rumpfe angeschlossen gedacht und es ist von ihnen in die Zeichnung nur aufgenommen der Mittelpunkt des Humeruskopfes (mit + bezeichnet) und der gemeinschaftliche Schwerpunkt des ganzen Armes (a). Wo indessen dem Arme oder seinen einzelnen Theilen eine besondere Stellung gegeben sein sollte, da wurde derselbe in Gestalt einer punktirten geraden Linie hingelegt und in diese die Schwerpunkte eingetragen.

Den Fuß ließ ich ganz außer Acht und berücksichtigte denselben nur in so ferne, als ich für die Constructionen sein Gewicht zu demjenigen des Unterschenkels hinzurechnete, wenn Oberschenkel und Unterschenkel getrennt zu behandeln waren. Dieses Verfahren ist dadurch

gerechtfertigt, daß die Stellung des Fußes erst nach vollendeter Construction bestimmt werden konnte, indem sie so gewählt werden mußte, daß die Schwerlinie etwa in die Mitte der Sohle fiel; aus diesem Grunde konnte auch der Einfluß der Stellung des Fußes d. h. der Lage des Fußschwerpunktes auf die Lage des allgemeinen Schwerpunktes des Körpers nicht mit in Rechnung gebracht werden; derselbe ist auch zu unbedeutend, als daß seine Vernachläßigung einen wesentlicheren Fehler bedingte.

Die Gewichtsverhältnisse, deren ich mich bediente, sind die von Harleß bestimmten, welche ich den früher von mir benutzten in schon angegebener Weise gewonnenen deswegen vorziehe, weil sie der durchgeführten Wägung der einzelnen Theile eines einzigen wohlgebauten Individuums entnommen sind und dadurch, wenn sie natürlich auch nicht von Individualität frei sind, doch ein harmonisches Ganze bilden. Diese Gewichtsverhältnisse, von mir auf das Körpergewicht 10,000 zurückgeführt, sind folgende:

oberer Theil des Rumpfes	3604			
unterer Theil des Rumpfes	1026	4630		
Kopf	714		5344	
Oberarm .	324			6522
Unterarm .	181	589. — Beide Arme	1178	
Hand . .	84			
Oberschenkel	1118			
Unterschenkel	438	1739. — Beide Beine . .	3478	
Fuß . .	183			
Ganzer Körper			10,000	

Die in dieser Uebersicht gegebenen Zahlen bieten indessen zu schwierige gegenseitige Verhältnisse, als daß sie sich für Ausführung der Construction unmittelbar anwenden ließen; — ich habe deshalb das gegenseitige Verhältniß der einzelnen Theile für den Zweck der Construction auf folgende einfachere Annäherungszahlen zurückgeführt:

Rumpf zu Kopf (4630 : 714)	13 : 2
Rumpf und Kopf zu beiden Armen (5344 : 1178)	9 : 2
Rumpf, Kopf und Arme zu beiden Beinen (6522 : 3478) . . .	2 : 1
Oberer Theil des Rumpfes zu unterem Theil desselben (3604 : 1026)	10 : 3
Oberarm zu Unterarm und Hand (324 : 265)	6 : 5
Oberarm zu Unterarm zu Hand (324 : 181 : 84)	4 : 2 : 1
Oberschenkel zu Unterschenkel und Fuß (1118 : 621)	2 : 1

In allen Zeichnungen ist der allgemeine Schwerpunkt des ganzen Körpers durch einen doppelten Ring hervorgehoben, und der Punkt, in welchem die Schwerlinie den Boden trifft, durch einen Punkt (v) in der Horizontalen bezeichnet, auf welcher die Figur steht.

Die Linie, welche als Wirbelsäule gezeichnet ist, ist die Mittellinie der vorderen Fläche der Wirbelsäule.

Der Unterschenkel wird dargestellt durch das Schinbein und den untersten Theil des Wadenbeins.

Ich wende mich nunmehr zu der Erklärung der einzelnen Figuren. (Taf. I. Fig. 1. 2. 3. s. oben Seite 10.)

Taf. I. Figur 4.

Das Harleß'sche Schema mit der Modification, daß die Größenverhältnisse nach den Krause'schen Messungen abgeändert sind (vgl. S. 12).

Ich habe dasselbe benutzt, um in demselben zugleich eine Hinweisung darauf zu geben, wie die Berücksichtigung der hier mitgetheilten Sätze das im Eingange angedeutete Interesse für die praktische Chirurgie haben könne. — Ich habe nämlich die nach den entwickelten Grundsätzen durch Construction gefundenen allgemeinen Schwerpunkte hineingelegt:

a. eines Individuums, welchem der linke Arm vom Schultergelenk an fehlt und welches den rechten Arm horizontal ausgestreckt hält,

b. eines Individuums, welchem das linke Bein vom Hüftgelenke an fehlt.

Den mit a bezeichneten Schwerpunkt des Individuums a findet man in der Zeichnung um 4 Mm. zur Seite und um 2 Mm. in die Höhe gerückt. Da nun aber die Zeichnung etwa den zehnten Theil eines allerdings sehr großen Mannes (von 186 Cm. Höhe) wiedergiebt, so weist die angegebene Verrückung des Schwerpunktes auf eine seitliche Verschiebung um 4 Cm. und eine Höherlegung um 2 Cm. hin.

Ebenso weist der mit b bezeichnete Schwerpunkt des Individuums b darauf hin, daß der Verlust des Beines den Schwerpunkt um 2 Cm. seitlich verschoben und um 10,5 Cm. höher gelegt hat.

Daß so bedeutende Lagenveränderungen des allgemeinen Schwerpunktes durch ihren Einfluß auf die ganze Haltung des Körpers der Beachtung der praktischen Chirurgie werth sind, ist deutlich.

Ich will übrigens dieses Thema hier nicht weiter ausführen, und wende mich in dem Folgenden zu Figuren, welche die Theorie der wandelbaren Schwerpunktslage darzulegen

geeignet sind und zugleich dem Künstler Hinweisung auf die Methode der Construction und der Stellung von Figuren geben können.

Taf. II. Figur 5, 6 und 7.

Ich habe in den folgenden Figuren nur drei Haltungen der Wirbelsäule zu Grunde gelegt, nämlich diejenige des aufrechten Stehens, die stärkste Rückwärtsbeugung, und die stärkste Vorwärtsbeugung, wie ich dieselben in meinen früheren Untersuchungen kennen gelernt habe; die Haltung der Halswirbelsäule habe ich dabei entweder ebenfalls als extreme Beugung nach hinten oder nach vornen gegeben oder auch in der bei dem aufrechten Stehen zu beobachtenden mittleren Haltung an die stärker vorwärts oder rückwärts gebeugte Wirbelsäule angefügt. Daß bei diesen drei Haltungen der Wirbelsäule die Gestalt des Rumpfes ebenfalls eine verschiedene sein muß, ist deutlich, und ebenso, daß damit auch die Lage des Schwerpunktes eine verschiedene sein muß. In den vorliegenden Zeichnungen ist nun nach den in dem Früheren entwickelten Gesetzen die Lage des Schwerpunktes r für jede der drei Rumpfgestaltungen dadurch bestimmt, daß der Schwerpunkt o der oberen Rumpfabtheilung mit dem Schwerpunkt u der unteren Rumpfabtheilung durch eine gerade Linie verbunden ist, und daß dann diese gerade Linie in r so getheilt ist, daß ihre Theilstücke den Werthen der anliegenden Schwerpunkte umgekehrt proportional sind, daß demnach $or : ru = 3 : 10$.

Zugleich ist in diesen Figuren die Methode gezeigt, durch Hereinlegen regelmäßiger mathematischer Umrisse den Körper in einzelne Theile zu zerlegen. Das Uebereinandergreifen der beiden den Rumpf bildenden Ellipsoïde ist compensirt dadurch, daß zwischen ihnen ein peripherischer Ring aa unbeachtet bleibt. Zwischen dem oberen Rumpfellipsoïd und dem als Kopf aufgefaßten eiförmigen Körper findet sich ebenfalls ein scheinbar unberücksichtigter Theil bb, dem Halse angehörig. Die Masse desselben ist indessen in so ferne dennoch in Rechnung gezogen, als sie großentheils zur Bildung des eiförmigen Körpers verwendet gedacht wird, da dieser zwischen Hinterhaupt und Unterkiefer bedeutende Ergänzungen nothwendig hat.

Taf. II. Figur 8.

Aufrecht stehende Figur, gestellt nach den von mir in den früher angeführten Aufsätzen dargelegten Gesetzen über die gegenseitige Haltung von Rumpf und Beinen und über die Haltung der Wirbelsäule in dem Rumpfe. Der allgemeine Schwerpunkt G liegt in dem Kreuzbeincanal über dem zweiten Kreuzbeinwirbel.

In dieser Figur, wie in den folgenden, ist:

r der Schwerpunkt des Rumpfes,

k „ „ „ Kopfes,

rk der Schwerpunkt des Rumpfes und Kopfes,
a „ „ der Arme (welche nicht gezeichnet sind),
ark „ „ von Rumpf, Kopf und Armen,
b „ „ der Beine,
G „ „ des ganzen Körpers,
v der Punkt, in welchem die Schwerlinie den Boden trifft.

Taf. II. Figur 9.

Aufrecht stehende Figur in stärkster Rückwärtsbeugung der Wirbelsäule. — Der allgemeine Schwerpunkt G liegt hinter dem Kreuzbein außerhalb des Körpers; — für die Möglichkeit seiner Unterstützung durch die Füße sind die Beine im Fußgelenk stärker nach vornen geneigt.

Die Arme sind dem Rumpfe anliegend gedacht; — würden sie senkrecht hinter dem Rumpfe herabhängen, wo dann ihr Schwerpunkt in a' wäre, so würde der allgemeine Schwerpunkt in der Zeichnung um 2 Mm. weiter nach hinten zu liegen kommen, wo er als ein mit einem Ring umgebener Punkt gezeichnet ist; im Lebenden würden diese 2 Mm. ungefähr 2 Cm. sein; und um ebensoviel müßte für richtige Unterstützung der Figur alsdann das Hüftgelenk durch Beugung des Fußgelenkes vorwärts geschoben sein d. h. in der Zeichnung um 2 Mm., im lebenden Erwachsenen um 2 Cm.

Taf. III. Figur 10.

Aufrecht stehende Figur in stärkster Vorwärtsbeugung der Wirbelsäule. — Der allgemeine Schwerpunkt G liegt etwas vor der spina anterior inferior cristae ossis ilei in dem Bauche; — für seine Unterstützung durch die Füße sind die Beine im Fußgelenk nahezu senkrecht gestellt.

Die Arme sind an den Rumpf angeschlossen gedacht; — würden sie senkrecht herunterhängen, so daß ihr Schwerpunkt nach a' zu liegen käme, so würde der allgemeine Schwerpunkt etwas weiter nach vornen rücken, um 1½ Mm. in der Zeichnung, und daher ca. 1½ Cm. im lebenden Erwachsenen; und die Correction der Stellung durch Rückwärtsbeugen im Fußgelenk müßte alsdann diesem entsprechend bedeutender sein.

Taf. III. Figur 11.

Sitzende Figur mit stärkster durch Muskelwirkung zu erzielender Beugung im Hüftgelenk und Kniegelenk. — Der allgemeine Schwerpunkt G liegt in der Gegend der Herzgrube vor der Bauchwandung.

Bei den Beinen sind wegen der Biegung des Kniees der Schwerpunkt f des Oberschenkels und der Schwerpunkt t des Unterschenkels besonders berücksichtigt und zu dem gemeinschaftlichen Schwerpunkte der Beine b vereinigt.

Die Arme sind unter dem Knie gekreuzt gedacht, so daß der Schwerpunkt des Oberarms in h liegt und das Ellenbogengelenk in u; dieses u ist zugleich wegen der Ansicht der Unterarme in der Richtung ihrer Axen als Schwerpunkt der Unterarme angenommen und mit h zum gemeinschaftlichen Armschwerpunkt in a vereinigt.

Würde diese Figur ohne die Unterlage direkt auf dem Boden sitzen, so würde sie gerade auf den Sitzhöckern äquilibriren, also nicht so ruhig unterstützt sein, wie jetzt, wo die Schwerlinie zwischen den Sitzhöckern und den Füßen den Boden trifft. — Dabei würde auch die gemeinschaftliche Schwerlinie für Kopf, Rumpf und Arme aus rka hinter dem Hüftgelenk herunterfallen; der Rumpf müßte deshalb entweder durch starke Thätigkeit der Beugemuskeln des Oberschenkels in seiner Lage gehalten werden oder durch klammernde Thätigkeit der um die Kniee geschlungenen Arme. — Ohne die Unterlage würde die gegebene Stellung demnach sehr schwierig sein, und ihre Darstellung in der Figur etwas höchst Unruhiges haben.

Taf. III. Figur 12.

Sitzende Figur mit stärkster durch äußere Gewalt erreichbarer Beugung der Hüftgelenke und der Kniegelenke; beugende Gewalt sind die um die Unterschenkel geschlungenen Arme, deren Ellenbogengelenk in u liegt. — Der allgemeine Schwerpunkt liegt hier in der Herzgrube noch innerhalb der Bauchwandung.

Die Figur kann direkt auf dem Boden sitzen (hocken), denn die Schwerlinie fällt dabei zwischen die Sitzhöcker und die Fersen; und die Schwerlinie von Rumpf, Kopf und Armen fällt auch noch etwas vor dem Hüftmittelpunkte herunter; würde letzteres aber auch nicht der Fall sein, so wäre die Fixirung des Rumpfes doch durch die Thätigkeit der Arme gesichert. — Die Figur bekömmt ihren Ausdruck der Ruhe neben der richtigen Unterstützung des allgemeinen Schwerpunktes hauptsächlich durch diese Zusammendrückung zu einem in sich unbeweglichen Ganzen.

Im Uebrigen wird diese Figur leicht verstanden durch Vergleich mit der vorhergehenden Figur, von welcher sie eigentlich nur eine Modification ist.

Taf. III. Figur 13.

Stärkste Beugung des Rumpfes gegen die im Knie steifen Beine. — Der allgemeine Schwerpunkt G liegt hier vollständig frei in großer Entfernung von dem Körper.

Die Wirbelsäule hat die stärkste Beugung nach vornen, ohne daß indessen der Halstheil derselben daran Antheil nähme. — Die Arme sind senkrecht herabhängend gedacht, so daß ihr Schwerpunkt in a liegt. — Der ganze Körper gestaltet sich auf diese Weise zu einem unvollständigen Ring, daher auch, wie bei einem solchen, der Schwerpunkt frei in die Lichtung fällt.

Taf. IV. Figur 14 und 15.

In den bisherigen Figuren deckten sich die beiden Beine vollständig und die Unterstützungsfläche für den Schwerpunkt war der Raum zwischen beiden Füßen; in den folgenden Figuren sind beide Beine in verschiedenen Lagen und die Einzelnschwerpunkte derselben β und β müssen deshalb immer erst zu einem gemeinschaftlichen Beinschwerpunkt b vereinigt werden. In der Vorder- oder Hinteransicht muß das ruhende (aufgestemmte) Bein eine Neigung nach außen zeigen, um die seitliche Aequilibrirung zu vermitteln.

Fig. 14 und 15 stellen den militärischen Uebungsschritt dar, und zwar Fig. 14 das Aufheben des linken Beines, Fig. 15 das Niedergesetztsein desselben mit Erhebung des rechten Beines nach hinten. Die Construction wird bei der aus dem Früheren bekannten Bezeichnungsweise der Schwerpunkte leicht verstanden. Die Arme sind an den Rumpf angeschlossen gedacht, ihr Schwerpunkt in a.

In Fig. 14 hat die Wirbelsäule die Haltung des aufrechten Stehens. Der allgemeine Schwerpunkt G ist durch Hebung des linken Beines in die vordere Grenze des unteren Lendenwirbels gerückt; — zu seiner Unterstützung in v muß deshalb das rechte Bein im Fußgelenk rückwärts geneigt werden, und diese Rückwärtsneigung theilt der Rumpf, welcher mit dem rechten Beine in der Verbindung des aufrechten Stehens (Fig. 5) sich befindet.

In Fig. 15 ist das rechte Bein nach hinten gehoben; da dieses indessen, wie ich bereits in Müller's Archiv 1853, S. 387 nachgewiesen habe, nicht eine Bewegung im rechten Hüftgelenk ist, sondern eine gleichzeitige Beckenneigung im linken Hüftgelenke und Beugung der Lendenwirbelsäule, so erscheint in dieser Figur das Becken in der gleichen Lage zu dem rechten Beine wie in Fig. 14; das Becken ist aber dem Grade der Hebung des Beines entsprechend nach vornen geneigt und die Lendenwirbelsäule zeigt den stärksten Grad ihrer Rückwärtsbeugung; der übrige Theil der Wirbelsäule zeigt die Haltung des aufrechten Stehens wie Fig. 11. — Der allgemeine Schwerpunkt ist auf den Anfang des dritten Kreuzbeinwirbels gerückt und zu seiner Unterstützung muß das aufgestemmte linke Bein nahezu senkrecht stehen.

Beide Stellungen sind schwierig und deshalb unruhig, weil beide Arten der Beinhebung nur mit vielem Aufwand von Muskelthätigkeit gehalten werden können.

Taf. V. Figur 16 und 17.

Knieende Figuren. In denselben sind die Beinschwerpunkte b durch Vereinigung der Einzelnschwerpunkte der Beine $\beta\beta$ gewonnen; der Schwerpunkt β ist aber selbst wieder durch Vereinigung des Oberschenkelschwerpunktes φ und des Unterschenkelschwerpunktes τ seines Beines gefunden.

In Fig. 16 sind die Arme gestreckt an den Rumpf angeschlossen gedacht; ihr Schwerpunkt in a. — Die Wirbelsäule hat stärkste Rückwärtsbeugung ohne Betheiligung der Halswirbelsäule, welche nur die Haltung des aufrechten Stehens hat.

In Fig. 17 sind die Arme in gebeugter Stellung nach vornen gerichtet. Ihr Schwerpunkt a ist gefunden durch Vereinigung des Schwerpunktes der Hand m mit dem Schwerpunkte des Unterarmes u, und nachfolgender Vereinigung des gemeinschaftlichen Schwerpunktes um mit dem Schwerpunkte h des Oberarms. Die Zeichnung des Armes ist auch hier nicht gegeben, sondern nur durch eine punktirte Linie angedeutet und damit zugleich ein Beispiel gegeben, wie der erste Entwurf einer Figur mit einfachen Linien ausgeführt werden kann. Die Wirbelsäule hat stärkste Vorwärtsbeugung ohne Betheiligung der Halswirbelsäule, welche nur die Haltung des aufrechten Stehens hat. In Fig. 16 liegt der allgemeine Schwerpunkt G im Wirbelcanal hinter dem zweiten bis dritten Lendenwirbel, und ist unterstützt in v durch das rechte Knie.

In Fig. 17 liegt der allgemeine Schwerpunkt G nach innen von der Mitte des oberen Randes des linken Oberschenkels und wird in v unterstützt durch den linken Fuß.

Taf. VI. Figur 18 und 19. Taf. VII. Figur 20.

Diese Figuren stellen drei Akte des Aufsteigens auf ein Postament vor und werden nach den bisher gegebenen Analysen leicht verstanden.

In Fig. 18 ruht der linke Fuß noch am Boden, die Schwerlinie fällt zwischen beiden Füßen herunter.

In Fig. 19 fällt die Schwerlinie in den oberen Fuß, das linke Bein ist etwas gesunken.

In Fig. 20 findet Aufrichtung auf dem rechten Beine statt; das linke Bein und die Arme hängen abwärts.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

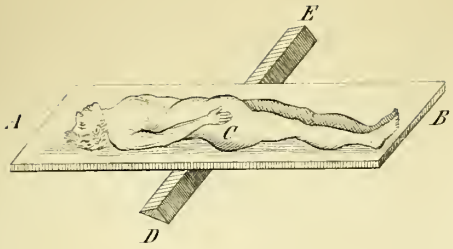

Fig. 1.

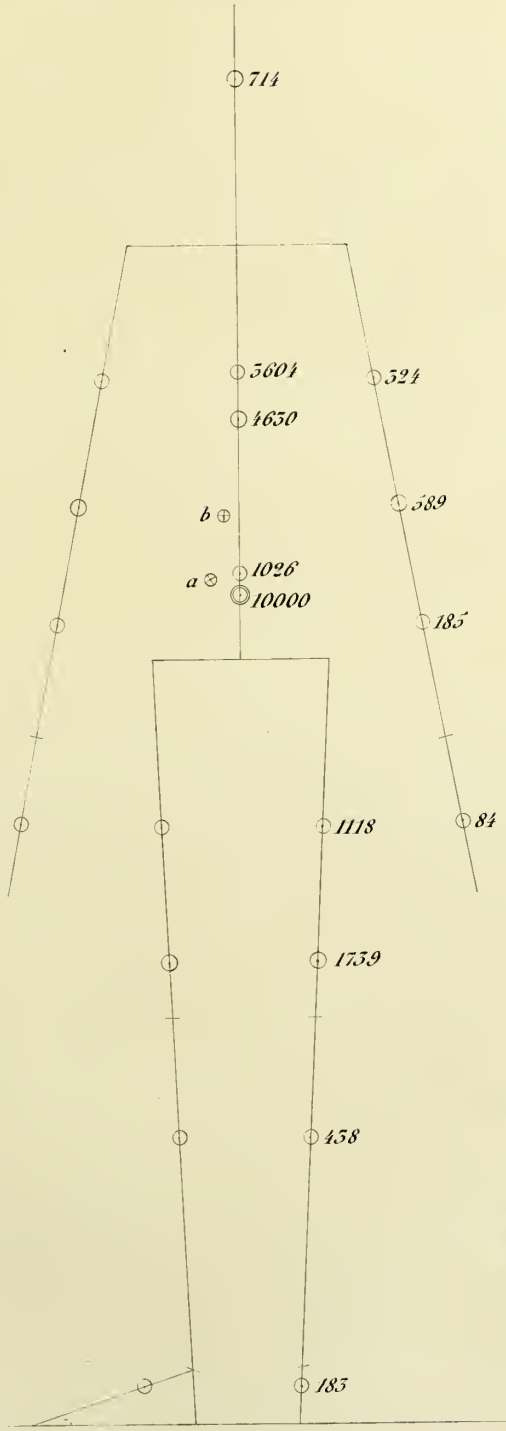

Fig. 4.

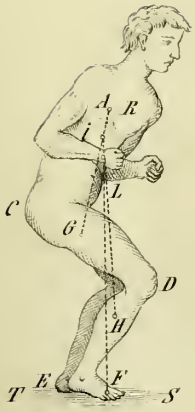

Fig. 3.

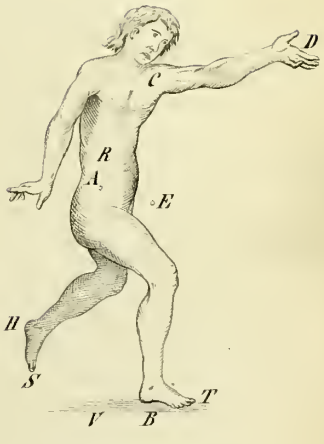

Fig. 2.

Fig. 8.

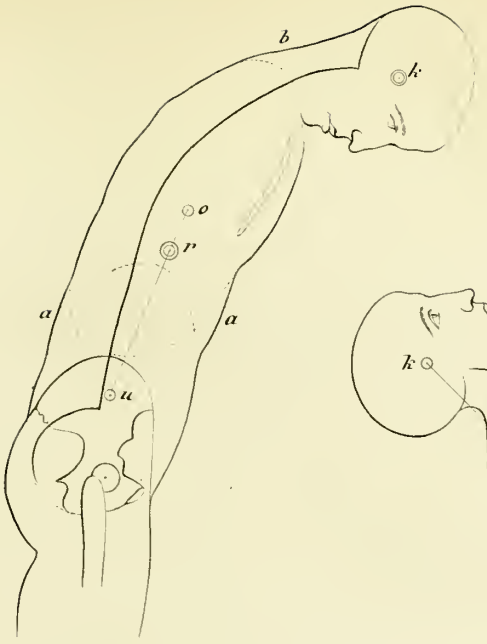

Fig. 7.

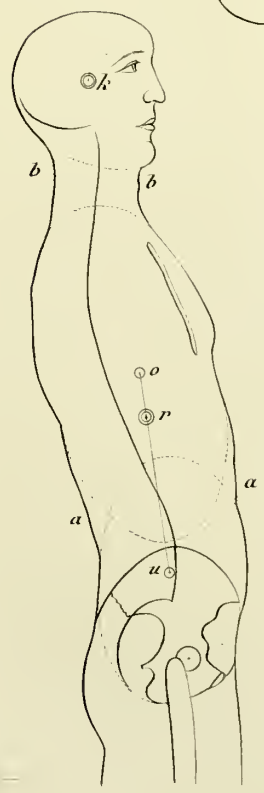

Fig. 5.

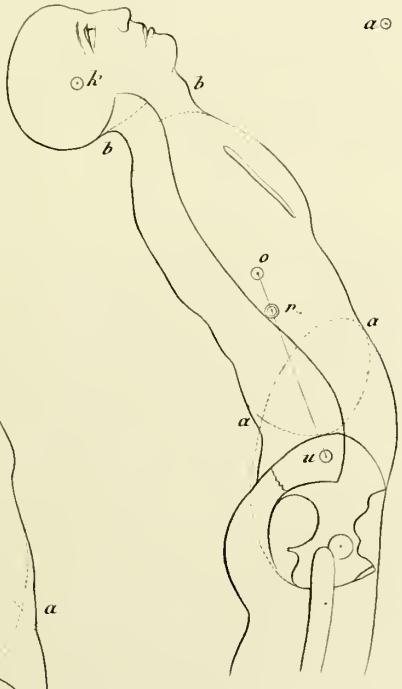

Fig. 6.

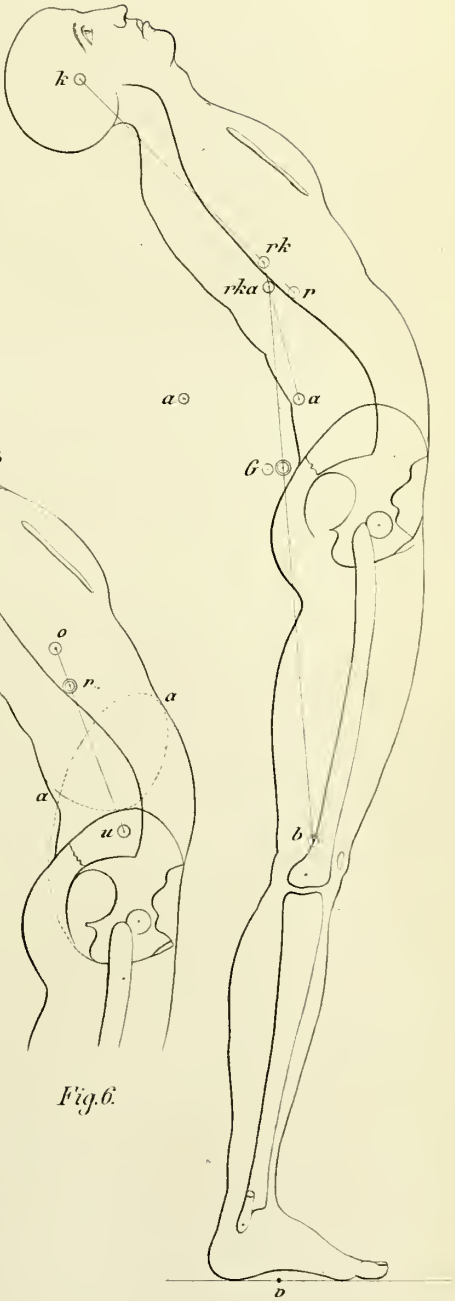

Fig. 9.

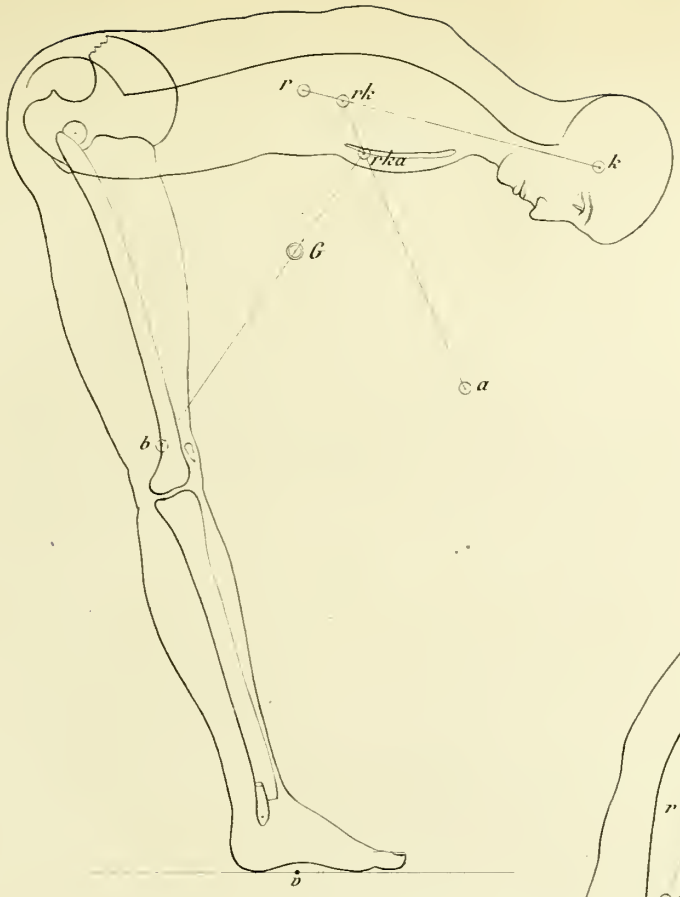

Fig. 13.

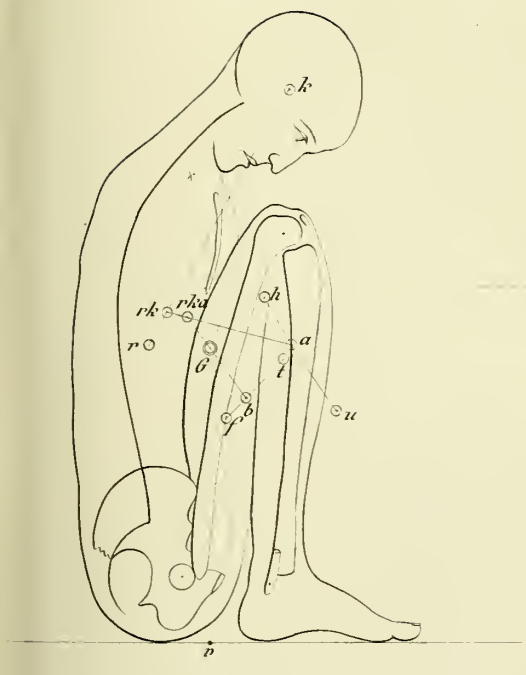

Fig. 12.

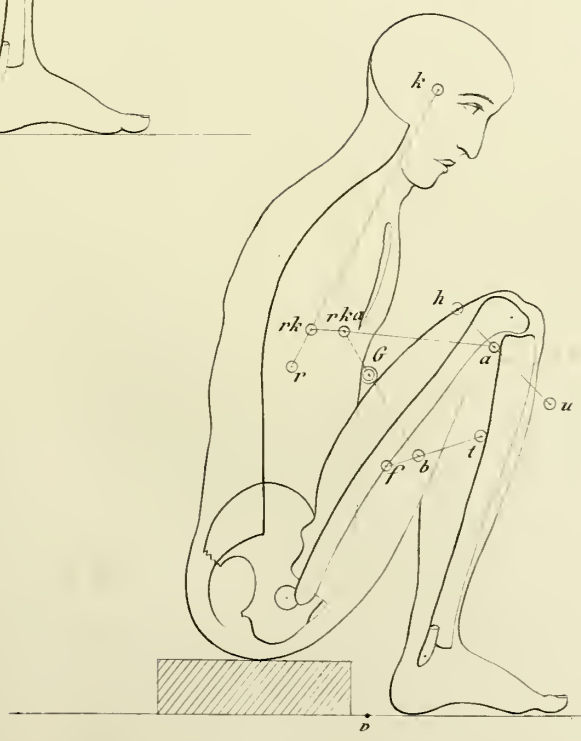

Fig. 11.

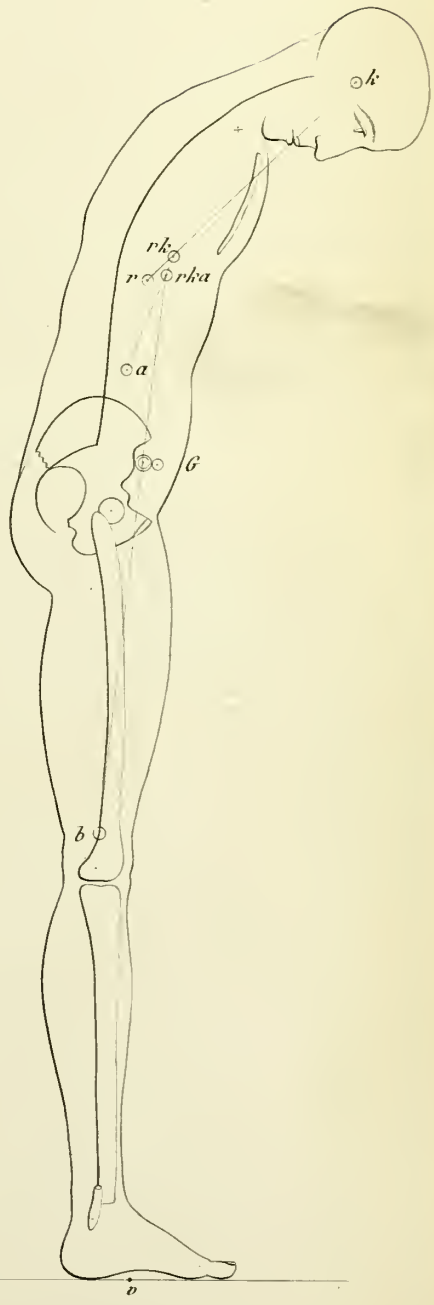

Fig. 10.

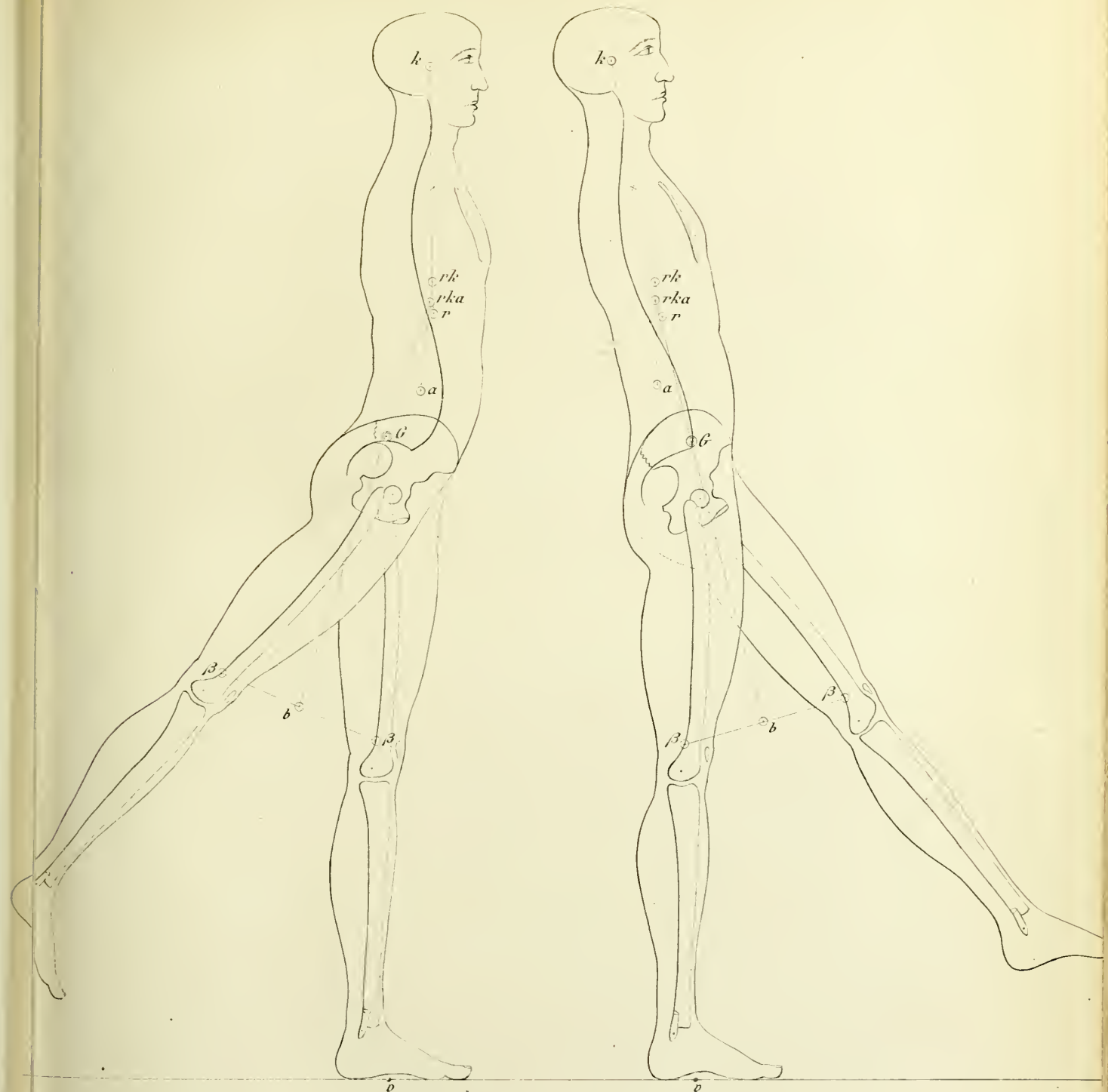

Fig. 14.

Fig. 15.

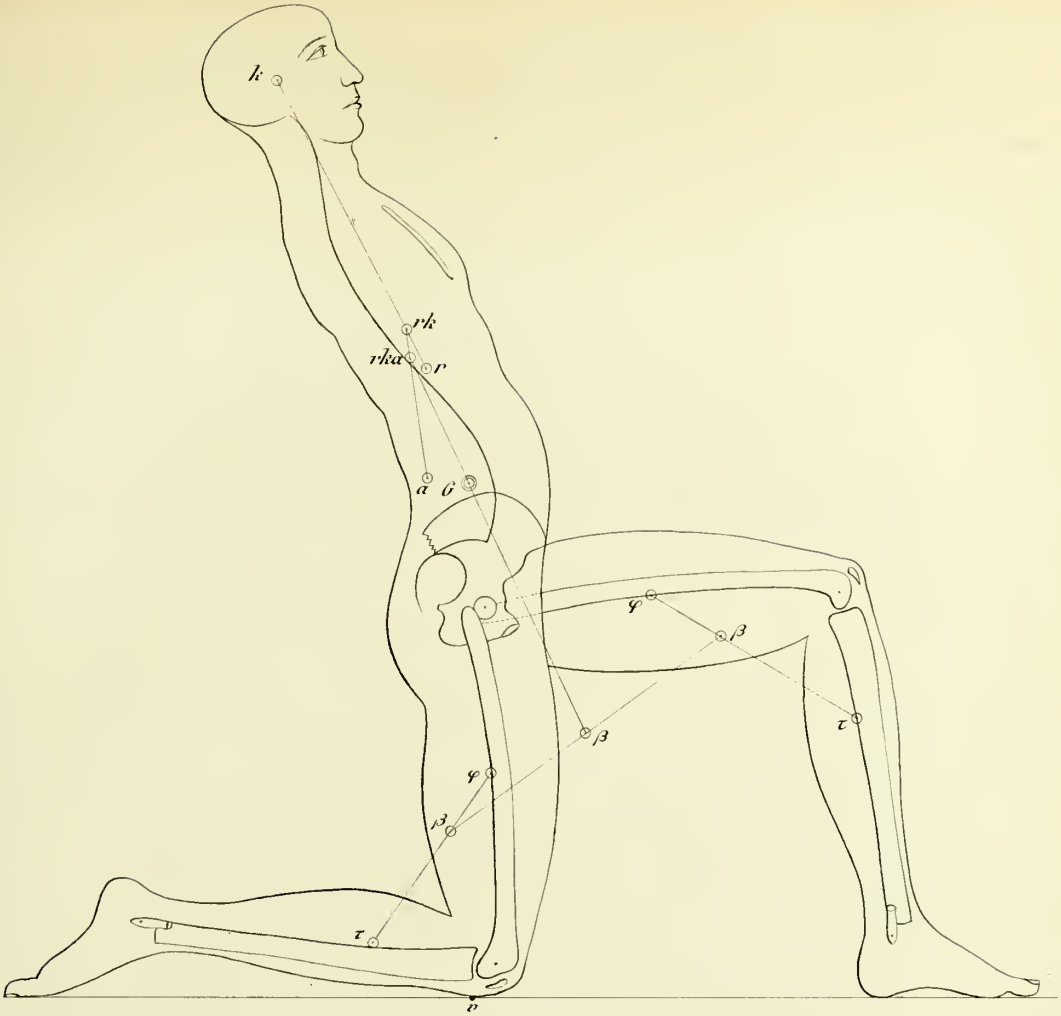

Fig. 16.

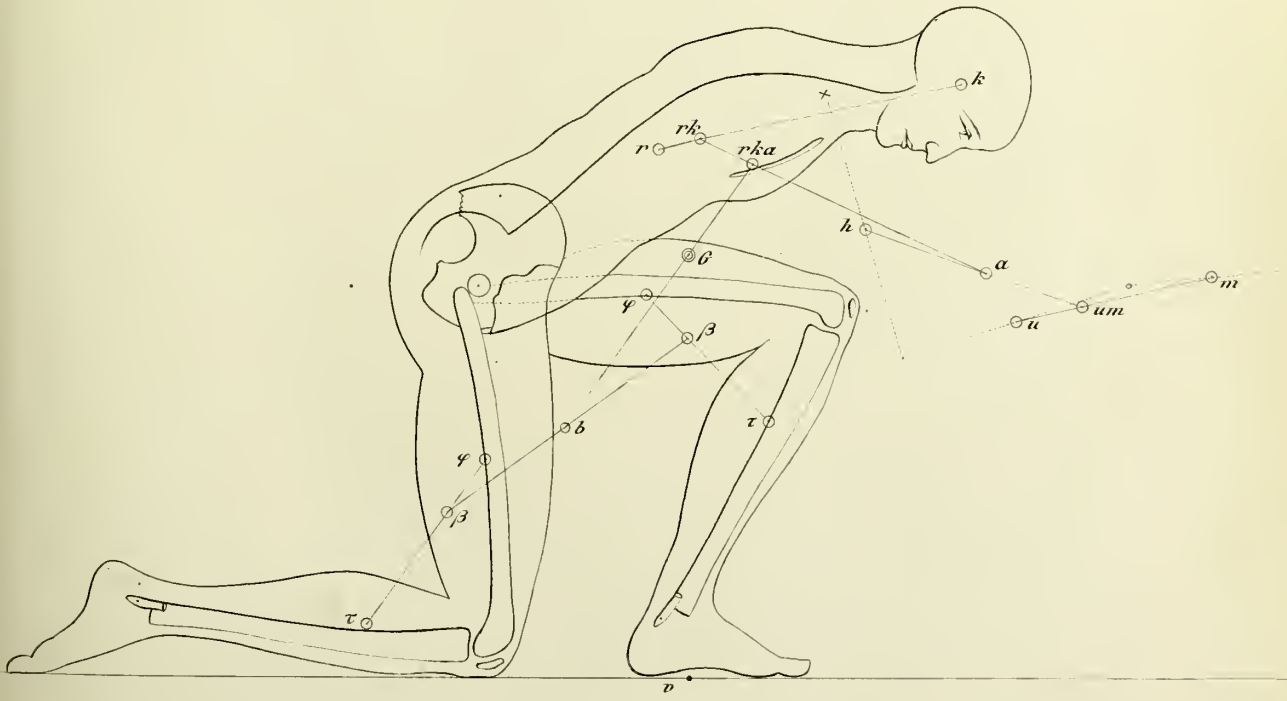

Fig. 17.

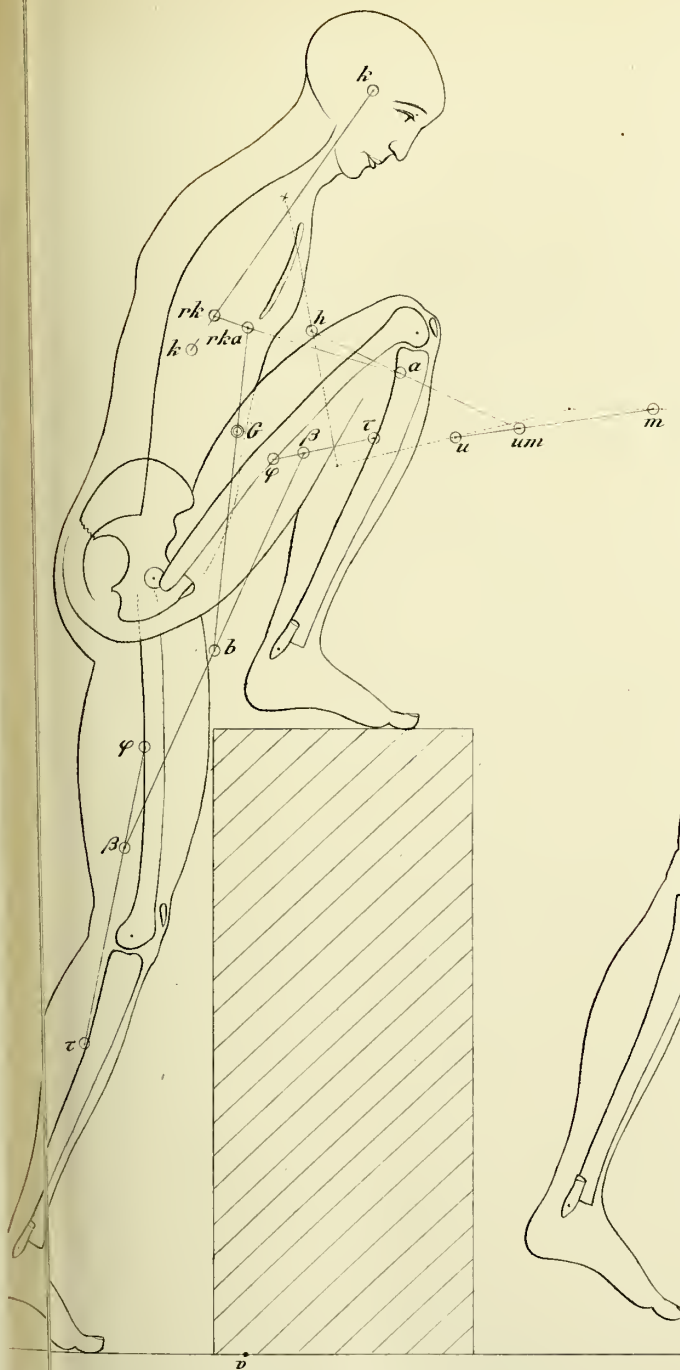

Fig. 18.

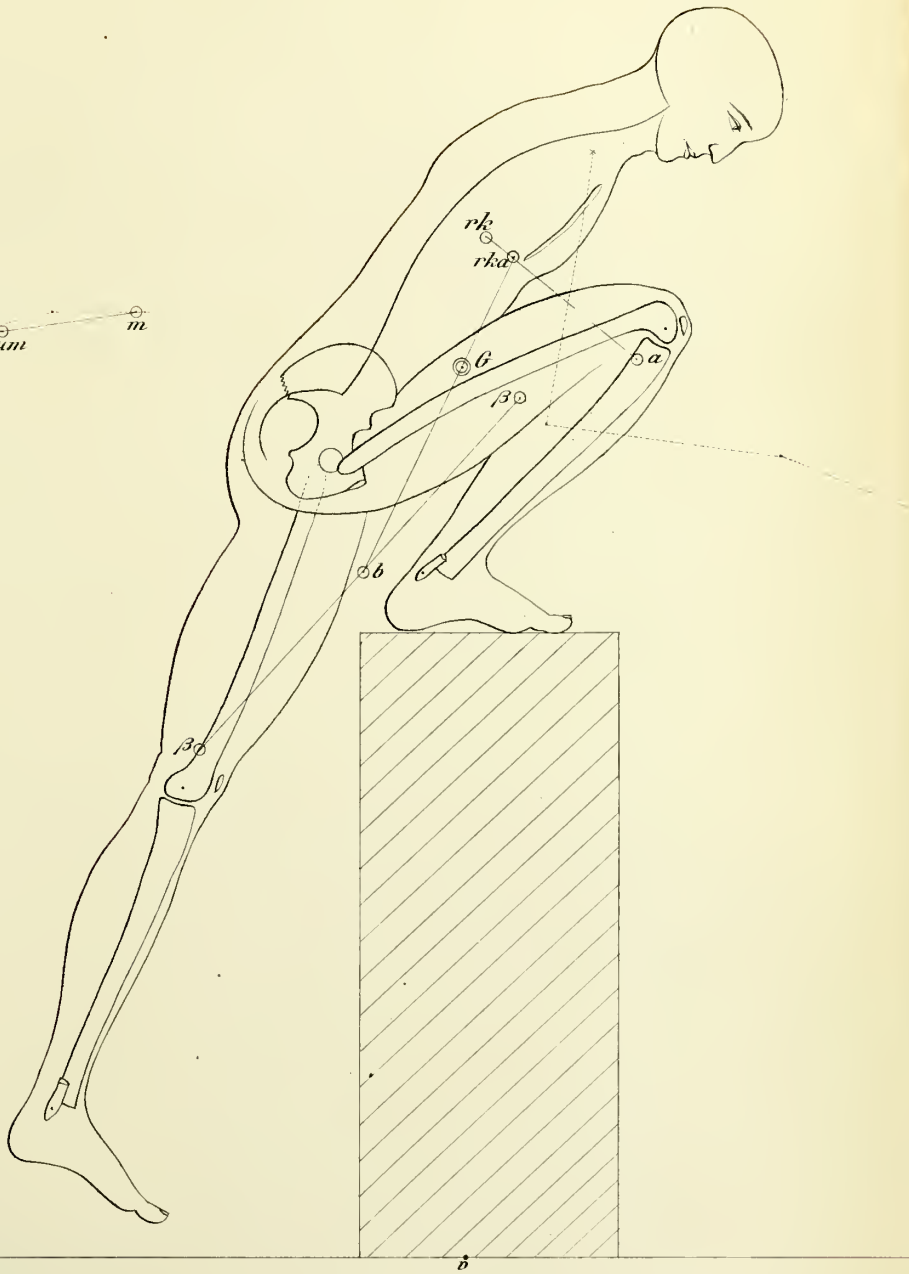

Fig. 19.

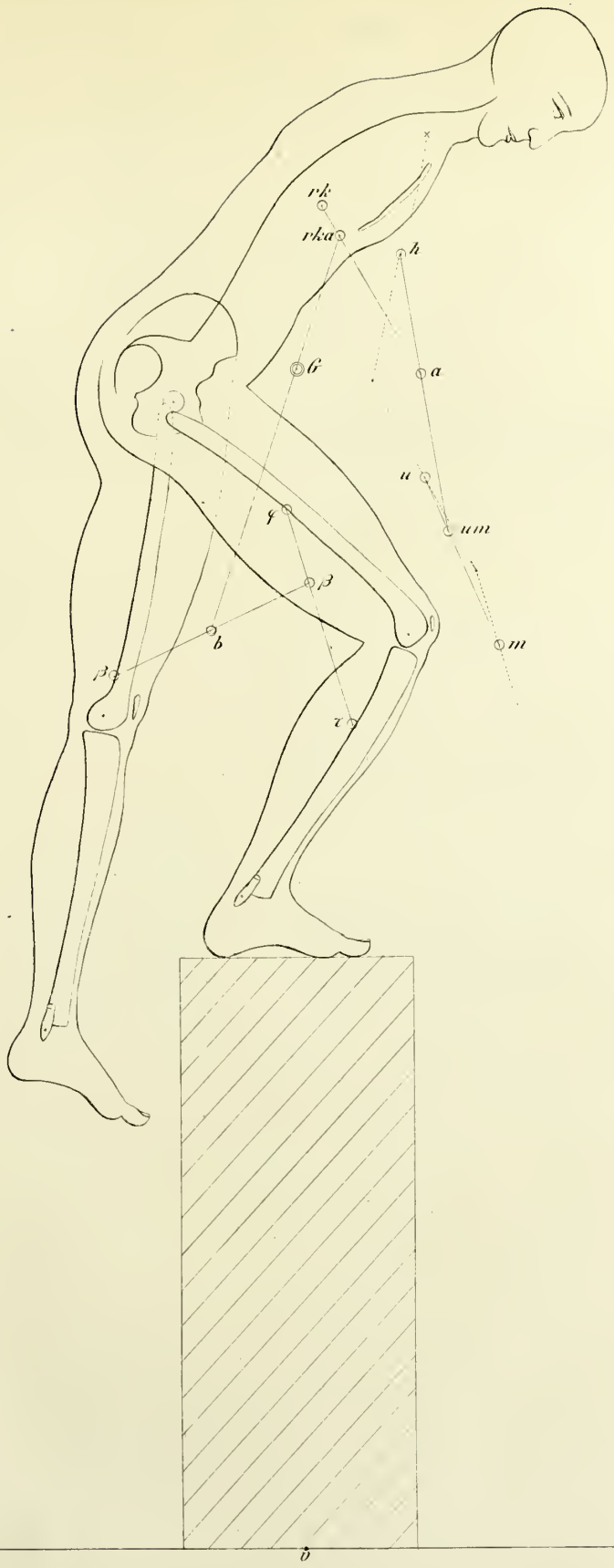

Fig. 20.